

Lüftungstechnische Analyse von OP- Betriebsabläufen

Diplomarbeit im Studiengang HLKS

heig-vd

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion
du Canton de Vaud

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur
Diplomarbeit

Diplomand : Pascal Sturny

Abgabedatum : 10.11.2008

Studiengang : Gebäudetechnik

Gutachter : Prof. Dr. Peter Egolf, FH Yverdon
Prof. Kurt Hildebrand, HSLU- T&A

Betreuer : Prof. Dr. Rüdiger Külpmann, TFH Berlin

1. Gesamtbemerkungen

Diese Diplomarbeit ist vollständig an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur durchgeführt worden. Sie wurde zuerst als französische Version verfasst und abgegeben.

Die verschiedenen Bildaufnahmen, die in der Krankenhausumgebung aufgenommen wurden, wurden anonymisiert, um den Datenschutz und den Respekt gegenüber den Patienten zu sichern. Keinen der untersuchten Standorte wird in dieser Diplomarbeit erkennbar publiziert.

2. Inhaltsverzeichnis

1. GESAMTBEMERKUNGEN	1
1. GESAMTBEMERKUNGEN	2
2. INHALTSVERZEICHNIS	3
3. INHALTSVERZEICHNIS DES ANHANGS	5
4. AUFGABENSTELLUNG	6
5. EINLEITUNG	7
6. HYGIENEQUALIFIZIERUNG DER SCHUTZGRADMESSUNGEN	10
6.1 Einleitung	10
6.2 Beschreibung der Last Qualifikation Messmethode	11
6.2.1 Messanordnung	12
7. POSITIONIERUNG UND BEWEGUNG BEI ORTHOPÄDISCHEN HANDLUNGEN	14
7.1 Problematik	14
7.2 Ausgewählte Operationen für die Studie	15
7.2.1 Behandelte Operationstypen	15
7.2.2 Durchführung von den Feldmessungen	16
7.2.3 Methode der Datensammlung	17
7.3 Datenverarbeitungsmethode	17
7.3.1 Bestimmung der Position von den Operierenden und OP-Lampen mittels Georeferenzierung	17
7.3.2 Bestimmung vom Bewegungsprofil des OP-Teams und der Lampen	20
7.4 Diskussion der Ergebnisse	21
7.4.1 Hüft-TEP	21
7.4.2 Knie-TEP	25
7.4.3 Arthrodesen (Gelenkversteifung der Lendenwirbelsäule)	26
7.4.4 Allgemeine Diskussion der Ergebnisse	26

8. GESAMTÜBERSICHT DER SCHUTZGRADVERSUCHSMATRIX	27
8.1 Versuchsmatrix	27
8.2 Messreihe N°1 : SWKI Standard	28
8.2.1 Schutzgradwert der Messreihe N°1	29
8.2.2 Diskussion der Ergebnisse	29
8.3 Messreihe N°2 : geneigte Dummies	30
8.3.1 Spezifizierung der Messreihe N°2	30
8.3.2 Versuchsmatrix der Messreihe N°2	31
8.3.3 Schutzgradwert der Messreihe N°2	32
8.3.4 Diskussion der Ergebnisse	34
8.4 Messreihe N°3 : Dummies in Bewegung	35
8.4.1 Spezifizierung der Messreihe N°3	35
8.4.2 Schutzgrad Wert der Messreihe N°3	38
9. ZUSAMMENFASSUNG	39
10. DANKSAGUNG	40
11. GLEICHUNGSVERZEICHNIS	41
12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	41
13. PLANVERZEICHNIS	42
14. TABELLENVERZEICHNIS	42
15. QUELLEVERWEISE	42

3. Inhaltsverzeichnis des Anhangs

1	Positionen und Bewegungen im OP-Raum
2	Technisches Schema der Installationen des Labor-Operationsaals
3	Georeferenzierung zur Bestimmung der Position von den Operierenden und OP-Lampen / Excel
4	Layout Beispiel H_02 : Position von den Operierenden und OP-Lampen / Mathematica
5	Layout Beispiel H_02 : Isonorme Darstellung von den Operierenden und OP-Lampen / Mathematica
6	Layout Beispiel H_02 : Bewegungen von den Operierenden und OP-Lampen / Mathematica
7	Schutzgradmessungen / Messreihe N° 1
8	Schutzgradmessungen / Messreihe N° 2
9	Schutzgradmessungen / Messreihe N°3
10	Programmierung des Linearantriebs / Messreihe N°3
11	Arbeits- und Lernjournal

4. Aufgabenstellung

Teilaufgabe 1:

Dokumentation von operativen Betriebsabläufen aus lüftungstechnischer Sicht

Während realer Operationen sollen in mehreren Spitälern bei gleichen, hochseptischen Operationsarten (z.B. am Herz, Implantationen), die Dauer (Schnitt-Nahtzeit), die Positionen der Tische, des Anästhesietuches, der OP-Lampen, DVE's, die Positionen des OP-Teams unter der Zuluftdecke usw. aufgenommen werden. Die Ergebnisse gleicher Operationen sollen einander gegenüber gestellt und ausgewertet werden, um aus lüftungstechnischer Sicht Unterschiede und Gleichheiten zu erkennen. Wichtig ist unter anderem, dass Positionsangaben immer auf einen einheitlichen Punkt bezogen sind, z.B. auf den Mittelpunkt des OP-Zuluftfeldes. Diese Ergebnisse werden nachvollziehbar korrekt dokumentiert.

Teilaufgabe 2:

Analyse von lüftungsrelevanten Problemfällen im Versuchslabor

Aus den in der ersten Teilaufgabe gefundenen Erkenntnissen sollen die lufthygienisch relevanten Abläufe analysiert werden. Für mindestens eine OP-Art ist eine versuchstechnische Nachbildung im Labor-OP durchzuführen. Neben dem analogen Aufbau aller Personen und Tische ist auch eine bauliche Anpassung der Dummies erforderlich. Mindestens ein Dummy soll im Rahmen dieser Diplomarbeit so umgebaut werden, dass er sich auf einer Bewegungsachse hin und her bewegen kann. Ebenfalls sollte das „sich vorbeugen“ der Personen simuliert werden.

Für die gewählte nachgebildete OP-Art ist die Schutzwirkung/ der Schutzgrad zu ermitteln und dies im Vergleich zur Standardeinrichtung nach SWKI¹ 99-3. Die Messungen sollen mit dem Ausströmprofil des Differenzialflows (Kerngeschwindigkeit: 0,4 m/s, Randgeschwindigkeit: 0,2 m/s) erfolgen. Nach Erarbeiten dieser Teilaufgabe und Auswertung der Ergebnisse sollen weitere Messungen vorgeschlagen werden, sofern die Zeit dazu reicht.

¹ Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren

5. Einleitung

Kontext

Die Gesundheitseinrichtungen setzen immer mehr auf eine vorbeugende Vorgehensweise, die die Beherrschung der Risiken und besonders die Durchführung spezifischer Mittel betrifft, um gegen die Nosokomiale Infektionen zu kämpfen. Das Ziel besteht darin, die Sicherheit der Kranken im Krankenhaus gegenüber dem infektiösen Risiko zu verstärken. Ein Qualitätsplan muss erarbeitet werden, um das Konzept, die Auslastung und die Risikozonen, wie Isolationszimmer, OP-Raum und Sterilisationsraum zu verfolgen. Um diese Vorgehensweise durchzuführen, muss sich das medizinische Personal engagieren, um diese Risiken in den Griff zu bekommen. Dies Dank normativer und dokumentarischen Texte. Experten werden eingesetzt, um das Personal zu schulen und Beobachtungsprotokolle zu erstellen.

Geschichte, Normen, Richtlinie & Anforderung

Das Konzept der Spital-Hygiene im modernen Sinn, besonders in den Operationssälen, beruht auf langjährigen Erkenntnissen. Tatsächlich haben sich die Hygienezustände im Verlauf der Jahrhunderte beachtlich verbessert. Die damaligen Vorzeigoperationssäle für Studenten, eine technisch-wissenschaftlich Evolution, haben die Entwicklung des heutigen Konzepts des OP-Raums erst ermöglicht.



Abbildung 1 Operationssaal Ende des 19. Jahrhundert



Abbildung 2 Operationssaal der neuen Generation

Dazu musste man Schlüsselbegriffe wie Bakteriologie und wissenschaftliche Hygiene erwerben und beherrschen. Es war Joseph Lister^a, der als Erster im Jahre 1870 die Ergebnisse einer Studie über die direkte Verbindung zwischen Keime und postoperative Infektionen publiziert hat.

Er machte die Entdeckung, dass, wenn er die Operationsinstrumente mit Karbolsäure (Phenol) durchnässt und dasselbe Mittel auf die Wunde zerstäubte, es zu einer Senkung der postoperativen Infektionen kommt.

Die Auswirkung seiner Entdeckung ist, dass die Sterblichkeitsrate zwischen 1885 und 1990 von 50% auf 2% gesunken ist

Louis Pasteur^b hat im Jahre 1874 ein Postulat über die Hochtemperatur-Sterilisierung von Eingriffsinstrumenten verordnet. Er war der Erste, der die Sterilisierung von allen Operationsinstrumenten im 120 bis 150°C heißen Ofen empfohlen hat. Der hygienische OP-Raum wurde nach und nach ins Leben gerufen, aber es fehlte immer noch das Hauptstück des aktuellen Konzeptes, und zwar die mechanische Lüftung. Das, obwohl die günstigen Vorteile der Lüftung bereits im Jahre 1885 von Naghtingale und Brunel^c bewiesen worden sind.

Erst die wissenschaftlichen Entwicklungen des Zweiten Weltkriegs haben die folgenden Bestandteile des aktuellen OP-Raums ermöglicht. Einerseits sind dies die turbulente Luftströmung, andererseits die Wirksamkeit der Luftfiltration, die Regelung der Zu- und Ablufttemperatur und der Überdruck in den Räumlichkeiten, die namentlich 1962 am UK Medical Research Council^d in Erscheinung treten.

Der Professor John Charnley^e hat in Jahre 1966 bewiesen, dass die Partikel, die das Operationsfeld infizieren, wesentlich vom Mensch kommen. Dies war ein Meilenstein im Gesundheitswesen. Diese Entdeckung hat eine grundsätzliche Änderung der Bekleidung des OP-Personals ergeben. Es hat dem Markt neue okklusive Reinraumbekleidung gebracht. Durch diese neuen Stoffe haben die Kontaminationsfälle von den Wunden um einen Viertel abgenommen.

Der zweite Meilenstein war die Entwicklung der unidirektionalen Luftströmungstechnik im Bereich Reinraum, der in New Mexico bei Scandia Corporation^f aufgebaut war.

Ein Teil des normativen Aspekts vom Reinraum und OP-Raum ist in Form des US Federal Standards 209^g im Jahre 1963 entstanden. Dieser wurde 1999 von der aktuellen Norm ISO 14644 abgelöst.

Eine spezifische SWKI Richtlinie vom Jahre 1987 mit dem Titel "Richtlinie für den Bau, Betrieb und Überwachung von Lüftungstechnischen Anlagen in Spitälern " (ISH 35/87) hat die Planung und Qualifikation von OP-Räumen bestimmt. Sie war im Jahr 2003 durch die aktuelle Richtlinie "Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen in Spitalbauten (Planung, Bau, Betrieb)" SWKI 99/3 ersetzt worden. Diese neue Richtlinie beantwortet die technologischen Entwicklungen im Gesundheitswesen.

In dieser Richtlinie ist eine neue innovative Methode definiert, um die Schutzwirkung von Lüftungen von OP-Räumen zu bestimmen. Diese Methode wird im Kapitel 6 dargelegt.

Diese Diplomarbeit steht im direkten Zusammenhang mit dieser Methode. Sie wurde für die Schutzgradmessungen im Labor-OP genutzt. Der Labor-OP liegt im Labor des Zentrums für Integrale Gebäudetechnik an der HSLU T&A in Horw.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, folgende zwei Fragen zu beantworten:

- Welches sind die realen Positionen und das Bewegungsprofil des OP-Personals, der OP-Lampen, DEV's, der Anästhesietücher und der Instrumententische im Verhältnis zum Referenzmittelpunkt der Zuluftdecke?
- Welche Wirkungen haben die Positionen und die Änderungen der Neigung der Dummies gegenüber der Norm auf den Schutzgrad?

Diese zwei Aspekte der Arbeit sind unabhängig voneinander behandelt worden. Deswegen werden sie in zwei vollständig getrennten Kapiteln abgehandelt.

Die Antwort zu diesen zwei Fragen soll die Kenntnisse über die Lüftung des OP-Raums und die Methode zur Schutzgradbestimmung weiterentwickeln. Sie soll auch als Grundbasis für die zukünftige Richtung im Versuchgebiet genutzt werden können. Das erste Thema soll erlauben, aus den vorgefassten Standpunkte, die heute existieren, anzubrechen. Dies soll im Hinblick auf das Verhalten und die Positionen des OP-Personals und der Geräte in der geschützten Zone und deren direkten Umgebung geschehen. Als erstes soll eine Methode für zur systematischen Datenerfassung definiert werden. Danach soll ein Auswertungstool erstellt werden. Dieser Aspekt der Arbeit wird im folgenden Kapitel gezeigt.

6. Hygienequalifizierung der Schutzgradmessungen

6.1 Einleitung

Das Kapitel 6.2 sowie der Anhang der SWKI Richtlinie 99-3 beschreiben die Qualifizierungsmethode des Operationssaals. Die Qualifikation eines OP-Raums ist die Wertung nach Norm bezüglich der gesamten OP-Lüftungsanlage, des Designs und der Leistung.

Die Leistungen eines OP-Raums müssen nach Beendigung des Baus geprüft werden, mit dem Ziel diesen für Operationen freizugeben. Diese Qualifikationen sind später wieder periodisch zu wiederholen. Das Ziel ist, dass der OP-Raum die festgesetzten Voraussetzungen erfüllt.

Das Prinzip dieses OP-Raums ist, dass eine möglichst keimfreie Luftmenge durch eine Zuluftdecke in ein definiertes Volumen gelangt, um die Abluft zu verdrängen. Die Luftströmung befördert durch die Geschwindigkeit und Masse die Partikel^{II}, die sich im Schutzzolumen befinden, weg. Diese Partikel sind die aerogenen Kontaminationvektoren. Bevor die Reinluft durch den Gewebeverteiler in den OP diffundiert, muss sie einen Kaskadenfilter passieren. Die letzte Filtrierungsstufe ist durch einen HEPA^{III}-Luftfilter (Schwebstofffilter) H13 realisiert.

Es ist wichtig, zuerst die Dichtigkeit dieser Filter und ihren Einbaurahmen zu prüfen. Mit einem Partikelmessgerät oder einem Spektrometer wurde der gesamte Zuluftdeckenbereich gescannt, um Lecks aufzudecken. Wenn diese Stufe erreicht ist, wird ein Siebdruckauslass mit einem geringen Abstand unter den Filter angebracht. Dieser Auslass mit seinen kleinen Löchern produziert einen unidirektionalen Luftstrom, den man laminare Strömung nennt. Im Gegensatz zur turbulenten Strömung, bei der die Reinluft mit verbrauchter Luft gemischt ist, ermöglicht die laminare Strömung durch die Kolbenwirkung eine direkte Absaugung der Partikel außerhalb des geschützten Bereichs.

Einen innovativen Aspekt der SWKI Richtlinie 99-3 ist, dass die Qualifikation der geschützten Zone die thermische Lasten und die Partikelgenerierung in der OP-Umgebung berücksichtigen. Früher wurde die Qualifikation des OP-Saals durch eine Partikelmessung bestimmt.

Die Quadratwurzel der Bodenoberfläche ergibt die Anzahl zu messender Punkte. Diese Messung wurden nach dem Stand von At-rest^{IV} durchgeführt.

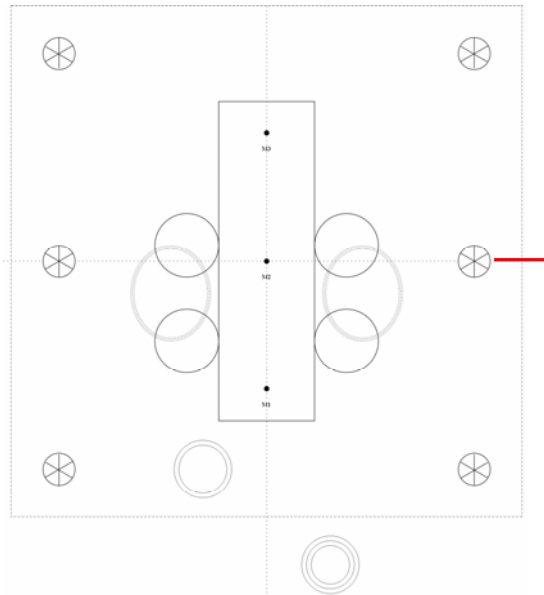
^{II} Festkörper oder Flüssigkeit, der in den Klassifizierungsbereich der Luftsauberkeit sich als einer Längenbegrenzung zwischen 0,1 µm à 5µm Grosse bestimmt

^{III} HEPA, High Efficiency Particulate Air / hoch-effiziente Luftfilter

^{IV} Definiert nach ISO Norm 209E / ohne Lasten und Möblierung

6.2 Beschreibung der Last Qualifikation Messmethode

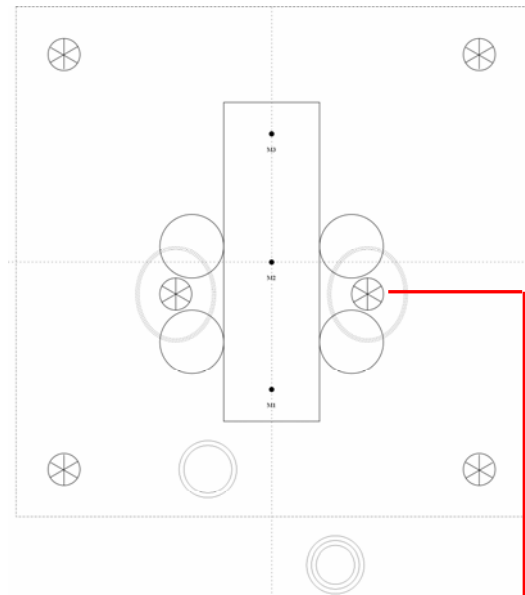
Die Methode ermöglicht es, die Seite der inneren und äußeren Kontaminanteinträge zu bestimmen. Unten sind die zwei Qualifikationsschemas des Schutzgrads abgebildet:



Plan 1 Grundrisschema des Standardeinbaus (Schutzwirkung gegen externe Lasten)



Abbildung 3 Einbau nach SWKI Richtlinie 99-3: Bestimmung der Schutzwirkung gegen externe Lasten



Plan 2 Grundrisschema des Standardeinbaus (Schutzwirkung gegen interne Lasten)

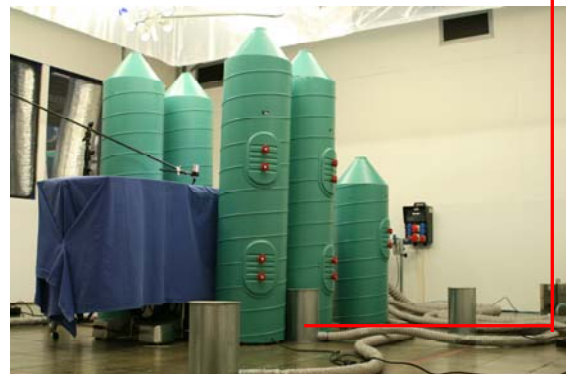


Abbildung 4 Einbau nach SWKI Richtlinie 99-3: Bestimmung der Schutzwirkung gegen interne Lasten

- Partikel-Messpunkt (medizinisch relevanter Messpunkt)
- ⊗ Aerosol-Aufgabezylinder / d=25 cm, h=30 cm
- ⊙ Dummy / P= 300 W, d=40 cm, h=150 cm
- Dummy / P= 100 W, d=40 cm, h=120 cm
- Dummy / P= 100 W, d=40 cm, h=180 cm
- OP-Leuchte auf OP-Tisch fokussiert

Der äußere Kontaminanteintrag kann durch zahlreiche Faktoren bedingt sein, besonders durch eine schlechte Planung des Designs des Operationsaals. Dazu gehört eine ungeeignete Dimensionierung der Zuluftdecke, eine unvernünftige Platzierung der Auslässe, zu tiefe Luftgeschwindigkeiten, eine unbeachtete Druckkaskade und eine falsche Führung der Personal- und Betriebsmittelflüsse^V.

Die inneren Kontaminanteinträge werden vor allem vom OP-Personal und vor den OP-Geräten verursacht und zwar durch die Wärmekonvektion der Körper und Geräte. Dieses Strömungsprofil zieht Partikel vom Boden weg, die schlussendlich auf dem OP-Tisch abgegeben werden. Die Luftströmung des Laminar-Flows soll entgegengesetzt zur Aufwärtsströmung der Konvektion wirken.

Eine andere Kontaminationsquelle kommt von den Lufrückführungen (Luftwirbel), die durch Hindernisse entstehen. Diese Schattengebiete befinden sich zum Beispiel unter den OP-Lampenschirm oder unter den geneigten Oberkörpern des OP-Personals.

6.2.1 Messanordnung

Die Aerosolkonzentration ist $6.3 \cdot 10^9 P/Min$ ^{VI} und wird von einem Ventilator (bereitgestellte Fördermenge von 108 m³/h) und einem Aerosolgenerator, der DEHS^{VII} Flüssigkeit ausgibt, bereitgestellt.

Dieses Medium simulierte die Partikelabgabe von den Operierenden, sowie diejenige die durch die Operationsaktivität^{VIII} generiert wird.

Diese Partikelkonzentrationsquelle (C_r) wird beim Aerosolverteiler auf der Eingabeebene gemessen. Diese milliardenschwere Konzentration ist mit einem Partikelmessgerät nicht messbar. Deswegen geht dieses Medium zuerst durch zwei Verdünnungssysteme. In diesen Geräten wird die Partikelkonzentration dividiert, um eine messbar zu erreichen. Die Referenzkonzentration ist die Summe der Partikel mit einer Größe von 0.3 µm oder mehr.

Diese Luft, die mit Aerosol belastet ist, wird mit einer geringen Luftgeschwindigkeit durch einen Auslass ausgeströmt. Dies erlaubt zusammen mit der "Spülluft" der Zuluftdecke eine homogene Aerosolverteilung ohne Einfluss auf die Luftgeschwindigkeit und das -profil.

Die Schutzgradwertbestimmung des OP-Raums muss unbedingt wertbeständig, thermisch, lufthydraulisch und hygrometrische gemessen werden. Es ist auch wichtig, dass die Dummies eine stabil warme Energiestrahlung abgeben. Die Lüftungsanlage muss vor jeder Messkampagne eine bestimmte Zeit in Betrieb sein, um das gesamte Raumluftvolumen mehrmals zu wechseln. Die Schutzgradmessung darf nicht beginnen, bevor die vorgenannten Konditionen erreicht sind.

Die Messung soll strikt nach dem folgenden Richtwerte protokolliert sein und zwar mit 15 Partikelmessungen von einer Minute pro medizinisch relevantem Messpunkt.

^V Fehlen der Schleusenkommer oder Pufferzone

^{VI} Milliarde Partikel pro Minute

^{VII} DEHS (Di-2-Ethylhexyl-Sebacat)-Prüfaerosol

^{VIII} Veröden von Blutgefäßen und Hautgewebe (Rauchentwicklung), Bohrungen, "Senken", Sägen von Knochen, Versiegeln von Biobeton und Verschrauben von Implantaten

Die Luftmenge pro Partikelmessung muss 1 Cfm^{IX} sein. Die Partikelkonzentrationswerte auf der OP-Tischoberfläche (C_x) sind der arithmetische Mittelwert von den zehn letzten ausgeführten Messungen.

$$SG_x = -\log\left(\frac{C_x}{C_r}\right) \quad \text{Gleichung [1]}$$

SG_x = Schutzgradwert (Grenzwerte von 0 bis 5) dimensionsloser Wert

C_x = Partikelkonzentration beim Tischmesspunkt $\left[\frac{P}{ft^3} \right]$

C_r = Partikelreferenzkonzentration $\left[\frac{P}{ft^3} \right]$

Schutzgrad	Partikelkonzentration beim Messpunkt C_x [P/ft ³]	Klassifizierung
5	10	Exzellente ^X
4	100	Sehr gut
3	1'000	Gut
2	10'000	Genügend
1	100'000	Ungenügend
0	1'000'000	Sehr schlecht

Tabelle 1 Schutzgradklassifizierung nach der SWKI Richtlinie 99-3



Ansicht der Partikelhäufung von 0.1, 0.5 und 1 µm Partikelgröße.

Abbildung 5 Partikelmessgerät Royko

^{IX} Angelsächsische Einheit: Cubic feet per minute, entspricht 28.1 l/min nach SI-Einheit

^X Es macht keinen Sinn, Partikelkonzentrationen von unter 10 Partikel pro CFM zu messen, weil der statistische Fehler des Geräts ca. 10% ist. Diese Werte sind keine technischen Werte mehr, weil sie nicht vom Hintergrundrauschen unterscheidbar sind.